

30-0111/2-2-01

16 MRZ 1984

Eintragungsnummer einschaft

ARBEITSBERICHT II/2

Konstitutives Stoffmodell des Verbundverhaltens von einbeto-
niertem Bewehrungsstahl - Untersuchung des Verbundkriechens

von

Prof. Dr.-Ing. F.S. Rostásy

Dipl.-Ing. A. Rohling

Februar 1984

Untersuchungen im Auftrag der DFG:

Schwerpunktprogramm: "Stoffgesetze im konstruktiven Ingenieurbau"

AK: Ro 288/19-2

BIBLIOTHEK
Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz
der Technischen Universität Braunschweig
Beethovenstraße 52
D-3300 Braunschweig

Einleitung

Versuchsprogramm

Bisherige Verbundkriechuntersuchungen

1. Ausbildung und Herstellung der Probekörper
2. Baustoffe
 - 2.1 Bewehrungsstahl
 - 2.2 Beton
3. Versuchseinrichtung und Versuchsdurchführung
4. Versuchsergebnisse
 - 4.1 Darstellung der Versuchsergebnisse
 - 4.2 Einfluß der Belastungshöhe
 - 4.3 Einfluß der Betongüte
 - 4.4 Einfluß der Zementart
 - 4.5 Einfluß des Belastungsalters
5. Verhalten der Probekörper nach Entlastung und bei anschließender Kurzzeitbeanspruchung
6. Weiteres Versuchsprogramm

Einleitung

Der Verbund zwischen Bewehrung und Beton ist eine der wesentlichsten Voraussetzungen der Stahlbeton- bzw. Spannbetonbauweise. Der Verbund beeinflusst nicht nur das Verformungs- und Tragverhalten einer Konstruktion, sondern ist auch maßgebend für die Rißbildung und damit für die Dauerhaftigkeit eines Tragwerkes. Daher wird bereits seit Einführung der Stahlbetonbauweise eine intensive Verbundforschung betrieben. Trotz dieser Anstrengungen weist die Forschungstätigkeit auf diesem Gebiet - wie die in der 1. Arbeitsperiode durchgeführte Literaturlauswertung (siehe Arbeitsbericht II/1) zeigt - wesentliche Lücken und Mängel auf.

So ist im experimentellen Bereich z.B. der Einfluß der Last-Zeit-Geschichte (Verbundkriechen, zyklische Belastungen) i.w. unerforscht. Wie sich das Verbundverhalten im Brandfall verändert, ist weitgehend bekannt, der Temperatur- und Feuchteeinfluß im Gebrauchsbereich (+20 °C bis +150 °C) hingegen nicht.

Ziel von Verbunduntersuchungen ist die Gewinnung von Beziehungen (Stoffgesetz des Verbundes) zwischen der Verbundspannung τ_v und den Relativverschiebungen v . Das phänomenologische Beschreiben des im Versuch beobachteten Verhaltens erfaßt jedoch nicht die physikalische Natur des Verbundes wie die Entstehung und Entwicklung von Verbundrissen in Abhängigkeit von Geometrie-, Struktur- und Beanspruchungsparametern.

Zur Gewinnung von Stoffgesetzen wird das Verbundverhalten an einfachen Versuchskörpern studiert, die idealisierte Ausschnitte aus dem Tragwerk nachbilden. Aufgrund der Prüfkörpervielfalt, der variierenden Prüf- und Meßtechnik sowie wegen stark streuender Materialgrößen zeigen die ermittelten Verbundspannungs-Verschiebungs-Beziehungen große Unterschiede, die die Vergleichbarkeit untereinander, die Übertragbarkeit auf das reale Bauteilverhalten sowie die Aufbereitung zu Stoffgesetzen erschweren.

In der experimentellen Arbeitsphase, die den z.Z. laufenden Förderungszeitraum (bis August 1984) sowie den beantragten Förderungszeitraum (August 1984 bis August 1985) umfaßt, sollen einige von uns als wesentlich erkannte, bislang i.w. jedoch unerforschte Einflüsse untersucht werden. Dazu gehören Verbundkriechuntersuchungen sowie Untersuchungen unter zyklischer Belastung. Daneben sollen Grundsatzversuche zur Erforschung der Verbundrißbildung durchgeführt werden, um mit den Versuchsergebnissen physikalisch begründete Modellvorstellungen des Verbundes abzuleiten. Erste Vorversuche, die dazu dienen, eine Methode zur Sichtbarmachung der inneren Rißbildung durch Injektion von Kunstharz zu entwickeln, laufen zur Ziet.

Diese Grundsatzversuche sollen auch dazu beitragen, die Vergleichbarkeit von an unterschiedlichen Prüfkörpern gewonnenen Versuchsergebnisse sowie deren Übertragbarkeit ins reale Bauteilverhalten zu erreichen.

Versuchsprogramm

Die Untersuchungen werden an zylindrischen Ausziehkörpern mit zentrisch einbetoniertem Stahlstab sowie an quadratischen Körpern mit zentrischer bzw. exzentrischer Stablage durchgeführt. Das Versuchsprogramm sieht die Untersuchung folgender Parameter vor:

Verbundkriechuntersuchungen

Lastniveau	$\tau_{vd} = 0,30 / 0,4 / 0,5 / 0,65$ τ_{vu} sowie $\tau_{vd} = 0,75 \div 0,90$ τ_{vu} (Bestimmung der Verbund- dauerstandfestigkeit)
Betongüte	B 25 / B 55
bez. Rippen- fläche f_R	hohes f_R (0,082 / 0,075) niedriges f_R (0,065)

Zementart	Portlandzement / Hochofenzement
Belastungs- alter	Regelfall: $t_A \geq 100$ Tage und $t_A = 10$ Tage
Mehrstufen- belastungen	$\tau_{vd1} / \tau_{vd2} = 0,40 / 0,70 \tau_{vu}$ sowie $\tau_{vd1} / \tau_{vd2} = 0,70 / 0,40 \tau_{vu}$
Betonüber- deckung	zentrisch: $\ddot{u}_b = 4,5 d_s$ bzw. $5,7 d_s$ exzentrisch: $\ddot{u}_b = 1 d_s/2 d_s$

Versuche unter zyklischer Belastung

Lastniveau	$\tau_V^0 = 0,7 / 0,8 \tau_{vu}$ $\tau_V^u = 0,1 / 0,25 / 0,4 \tau_{vu}$
Betongüte	B 25 / B 55
Frequenz	5 Hz / 1 Hz / 0,2 Hz
bez. Rippen- fläche f_R	hohes f_R (0,082 / 0,075), niedriges f_R (0,065)
Belastungs- alter	Regelfall: $t_A \geq 100$ Tage und $t_A = 10$ Tage
Betonüber- deckung	zentrisch: $\ddot{u}_b = 4,5 d_s$ bzw. $5,7 d_s$ exzentrisch: $\ddot{u}_b = 1 d_s/2 d_s$

τ_{vd} = ständig wirkende Verbundspannung

τ_{vu} = Verbundspannung im Bruchzustand

τ_V^0 = Oberspannung bei zyklischer Beanspruchung

τ_V^u = Unterspannung bei zyklischer Beanspruchung

Bisherige Verbundkriechuntersuchungen

Die Verbundkriechuntersuchungen wurden in der z.Z. laufenden Forschungsperiode bereits begonnen und sollen in dem beantragten Forschungszeitraum (August 1984 bis August 1985) weiterlaufen. Erste Versuchsergebnisse werden im folgenden vorgestellt:

1. Ausbildung und Herstellung der Probekörper

Die Verbundkriechuntersuchungen erfolgen an zylindrischen Ausziehkörpern mit kurzer Verbundlänge, deren Abmessungen den RILEM / CEB / FIP-Empfehlungen /1/ entsprechen:

Verbundlänge $l_v = 5 d_s$

verbundfreie Vorlänge $l = l_v = 5 d_s$

verbundfreie Nachlänge $l = 2 d_s$

Durchmesser des Probekörpers $D = 10 d_s$

Der Probekörper ist in Anlage 1 dargestellt.

Als Schalung zur Versuchskörperherstellung dienen in Längsrichtung aufgeschnittene Kunststoffrohre, die an Fuß und Kopf durch Stahlringe zusammengehalten werden. Eine Zentriereinrichtung ermöglicht eine unverschiebliche zentrische Halterung der Bewehrungsstütze in der Schalung. Die Verdichtung der Probekörper erfolgt mit Innenrüttlern, dabei wird ein Berühren des Stabes mit der Rüttelflasche vermieden. Nach dem Betonieren bleiben die Versuchskörper 7 Tage unter feuchten Tüchern in der Schalung, werden anschließend ausgeschalt und lagern bis zum Versuchsbeginn in einem Klimaraum bei $\vartheta = 20^\circ\text{C}$ und 65 % rel. Luftfeuchte.

Die Probekörper werden stehend betoniert; die Belastungsrichtung entspricht der Betonierrichtung.

2. Baustoffe

2.1 Bewehrungsstahl

Die Versuche werden mit handelsüblichen Betonrippenstahl BSt 420/500 RU durchgeführt. Die bisher verwendeten Stäbe stammen alle aus einer Charge. Die Festigkeits- und Profilierungskennwerte sind in Tabelle 1 zusammengestellt. Erste Versuche mit einem Betonrippenstahl mit einer dem Mindestwert der DIN 488 entsprechenden bezogenen Rippenfläche von $f_R = 0,065$ sind bereits durchgeführt; Ergebnisse sollen hier noch nicht vorgestellt werden.

Tabelle 1: Bezogene Rippenfläche und Festigkeitskennwerte des verwendeten Stahles

	d_s mm	f_R --	β_s N/mm ²	β_z N/mm ²
BSt 420/500 RU	16	0,082	490	710

2.2 Beton

Das Versuchsprogramm sieht die Untersuchung eines niederfesten und eines hochfesten Betons vor. Zur Betonherstellung wurde, mit Ausnahme der Serie 9, Portlandzement PZ 35 F verwendet. Um die angestrebte niedrige Betonfestigkeit (B25) zu erreichen, war ein hoher Wasserzementwert unumgänglich (Serie 2, 9 und 13). Die hochfesten Betone B55 gehören zu den Serien 4 und 8. Die Siebli-
nie der Zuschlaggemische liegt i.a. im "günstigen" Bereich nach DIN 1045. Die Zusammensetzung der verwendeten Betone ist in Tabelle 2 angegeben. Gleichzeitig mit den Probekörpern einer Betonierserie wurden Begleitkörper zur Bestimmung der Betonfe-
stigkeiten hergestellt und wie die Versuchskörper gelagert. Die Festigkeitskennwerte sind in Tabelle 3 zusammengestellt.

Tabelle 2: Zusammensetzung der verwendeten Betone

Betonierserie	Einheit	B25			B55	
		2	9	13	4	8
Zementart	---	PZ 35 F	H0Z 35	PZ 35 F	PZ 35 F	PZ 35 F
Zementgehalt	kg/m ³	233	238	240	395	398
Zuschlag 0 - 16 mm	kg/m ³	1912	1913	1920	1763	1775
Wassergehalt	kg/m ³	215	219	210	206	207
W/Z-Wert	---	0,92	0,92	0,88	0,52	0,52
Verdichtungsmaß	---	1,04	1,01	1,08	1,13	1,04
Ausbreitmaß	cm	42,0	48,0	40,5	36,0	41,0
Frischbeton- rohdichte	kg/m ³	2,36	2,37	2,37	2,37	2,38

Tabelle 3: Festigkeitskennwerte

Betonierserie	Einheit	B25			B55	
		2	9	13	4	8
B _{w28}	N/mm ²	27,4	25,0	28,0	56,7	64,0
Alter Versuchs- anfang t _{vA}	Tage	134	14	266	116	10
B _{vA}	N/mm ²	30,5	17,0	30,0	54,0	58,0
Alter Versuchs- ende t _{vE}	Tage	295	117	--	251	195
B _{vE}	N/mm ²	--	30,0	--	57,0	66,0
B _{sZ}	N/mm ²	2,45	2,15	2,17	3,5	3,54

3. Versuchseinrichtung und Versuchsdurchführung

Zur Durchführung der Versuche wurde ein vorhandener Prüfrahmen so umgebaut, daß insgesamt 6 Probekörper unabhängig voneinander belastet und langfristig unter Last gehalten werden können. Der Versuchskörper wird zum Ausgleich von Unebenheiten an der Probenunterseite auf eine Stahlplatte aufgegipst. Der Bewehrungsstahl wird durch die Innenbohrung der zur Belastung verwendeten Lukas-Zylinder geführt und durch Keilverankerung gehalten. Jeder Einzelprüfstand ist zur Konstanthaltung des Öldrucks bzw. zum Druckausgleich bei geringem Ölverlust mit einem Druckspeicher ausgestattet. In den Anlagen 2 und 3 ist die Prüfeinrichtung abgebildet.

Jedem Verbundkriechversuch gehen Kurzzeitversuche voraus. Die Höhe der Verbundkriechspannung τ_{vD} wird dann als Teil der im Kurzzeitversuch bestimmten Verbundbruchspannung τ_{vU} gewählt.

Während des Belastungsvorgangs erfolgt die Kraftmessung i.d.R. über elektronische Aufnehmer (Öldruckaufnehmer). Die Verschiebung des lastfreien Stabendes wird mit induktiven Wegaufnehmern

gemessen. Nach Erreichen der vorgegebenen Last wird die Verschiebungsentwicklung während der ersten Stunden mit einem Schreiber aufgezeichnet. Die Wegaufnehmer werden dann durch mechanische Feinmeßuhren ausgetauscht, die in größeren Zeitabständen abgelesen werden. Nach einer Belastungsdauer von etwa 2 - 3 Monaten (1500 bis 2200 h) werden die Feinmeßuhren wieder durch induktive Wegaufnehmer ersetzt. Bei Entlastung der Proben kann somit der spontan elastische sowie der verzögert elastische Rückschlupf kontinuierlich ermittelt werden. Nach Beendigung der Dauerstandsversuche werden die Probekörper zur Ermittlung der Resttragkraft einer Kurzzeitbeanspruchung unterworfen.

Abschließend wird jeder Probekörper gespalten und auf Unregelmäßigkeiten im Verbundbereich (Lunker u.ä.) überprüft. Zusätzlich wird die Verbundlänge nachgemessen.

4. Versuchsergebnisse

4.1 Darstellung der Versuchsergebnisse

Führt man einen Verbundkriechversuch durch, so stellt sich bei Erreichen der Dauerlast die lastabhängige Verschiebung v_0 ein. Daran anschließend beobachtet man die zeitabhängige Verschiebungszunahme $v_k(t)$. Damit ergibt sich die Gesamtverschiebung zu

$$v(t) = v_0 + v_k(t)$$

Entlastet man zum Zeitpunkt t_E , ist im Vergleich zu v_0 eine minimale spontane Rückfederung sowie ein sehr geringer verzögert elastischer Rückschlupf meßbar. In Anlage 4 ist das im Versuch beobachtete Verhalten schematisch dargestellt. Auf das Verbundverhalten nach Entlastung wird in Abschnitt 5 dieses Berichtes eingegangen.

Mit den ermittelten Verschiebungswerten lassen sich Verbundkriechzahlen $\phi_v(t)$ bestimmen, die das Verhältnis von zeitabhängiger zu

lastabhängiger Verschiebung angeben:

$$\varphi_v(t) = \frac{v(t) - v_0}{v_0} = \frac{v_k(t)}{v_0}.$$

In den Anlagen 5 bis 19 sind die ermittelten $v(t)$ - t -Beziehungen bzw. $\varphi_v(t)$ - t -Beziehungen im doppellogarithmischen Maßstab aufgetragen. Nach den Verbundkriechuntersuchungen von Franke /2/ und Svensvik /3/ verlaufen die $v(t)$ - t -Beziehungen bis zu einem Belastungsgrad $\tau_{vD}/\tau_{vU} \leq 0,70$ in doppellogarithmischer Darstellungsweise in erster Näherung linear. Diese Linearität gilt jedoch nur ab einer bestimmten Belastungszeit. Franke setzt den Zeitpunkt, zu dem die Linearität frühestmöglich gilt, zu 0,1 h; während Svensvik aufgrund seiner Versuchsergebnisse einen Belastungszeitpunkt von $t \approx 1$ h angibt.

4.2 Einfluß der Belastungshöhe

Bei den bisher untersuchten Probekörpern wurden in der Regel zwei unterschiedliche Belastungsgrade $\tau_{vD}/\tau_{vU} = 0,31$ und $0,41$ bzw. $0,65$ eingestellt. In den Anlagen 5 und 6 ist die zeitliche Entwicklung der Endverschiebung von Probekörpern aus jeweils der gleichen Betonierserie im doppellogarithmischen Maßstab aufgetragen. Die Werte stellen Mittelwerte aus jeweils drei Einzelversuchen dar.

Es zeigt sich, daß die $v(t)$ - t -Verläufe ab einer Belastungszeit $t \approx 0,05$ h näherungsweise linear und parallel zueinander verlaufen. Aus der Darstellung ist auch die Abhängigkeit der lastabhängigen Anfangsverschiebung v_0 vom Belastungsgrad ablesbar. Zusammenfassend läßt sich aus den bisherigen Versuchen ableiten, daß bis zu einem Belastungsgrad von $\tau_{vD}/\tau_{vU} \approx 0,70$ kein signifikanter Einfluß auf die zeitliche Verschiebungsentwicklung feststellbar ist.

Die Anlagen 7 und 8 enthalten eine Gegenüberstellung der $\varphi_v(t)$ - t -Beziehungen. Bei der Betonierserie 2 ist auffallend, daß die $\varphi_v(t)$ -Werte der höher beanspruchten Probekörper geringer sind als die der niedrig beanspruchten Probekörper.

Erste Versuche mit einem Lastniveau $\tau_{vd} > 0,70 \tau_{vu}$, die das Ziel haben, die Dauerhaftigkeit des Verbundes einzugrenzen, zeigten bereits während der ersten Stunden bzw. Tage nach Lastaufbringung z.T. Verbundbrüche. Bei einer Darstellung im doppellogarithmischen Maßstab weisen die $v(t)$ - t -Verläufe einen von der Geraden abweichenden progressiven Verlauf auf (Anlage 9). Die $\phi_v(t)$ -Beziehungen sind in Anlage 10 aufgetragen.

4.3 Einfluß der Betondruckfestigkeit

Um den Einfluß der Betongüte zu bestimmen, sind in den Anlagen 11 und 12 die $v(t)$ - t - bzw. $\phi_v(t)$ - t -Beziehungen der Betonierserien 2 und 4 bei gleichem Lastniveau $\tau_{vd} = 0,65 \tau_{vu}$ gegenübergestellt. Die Werte stellen Mittelwerte aus drei bzw. zwei Einzelversuchen dar. Unter Berücksichtigung des Streubandes ist kein signifikanter Einfluß der Betonfestigkeit auf das Verbundkriechverhalten feststellbar.

4.4 Einfluß der Zementart

Im Rahmen von Untersuchungen über Einflüsse auf das Verbundverhalten von Stahl in Leichtbeton, führten Martin und Janovic /4/ einige Tastversuche an Ausziehkörpern aus Normalbeton durch, die einer einstündigen Dauerlast unterworfen wurden. Bei der Normalbetonherstellung wurde bei einer Mischung ein Hochofenzement verwendet. Das Belastungsalter der Probekörper lag bei etwa 14 bzw. 26 Tagen. Untersucht wurden zwei unterschiedliche Lagen: liegend und stehend entgegen der Setzrichtung des Betons.

Martin und Janovic stellten fest, daß die Gesamtverschiebung $v(t) = v_0 + v_k(t)$ nach Beendigung der einstündigen Dauerbelastung bei Normalbeton mit Portlandzement etwa das zwei- bis dreifache des Anfangswertes v_0 betrug. Bei Verwendung von Hochofenzement lag das Verhältnis $v(t = 60 \text{ min})/v_0$ bei ungefähr 1,5.

Mit den Versuchsergebnissen lassen sich für Normalbeton mit Hochofenzement unabhängig von der Lage der Bewehrungsstäbe zur

Betonierriechung Kriechzahlen $\varphi_V(t = 1 \text{ h})$ von 0,5 bis 0,75 bestimmen. Für Normalbeton mit Portlandzement variieren die Kriechzahlen $\varphi_V(t = 1 \text{ h})$ in Abhängigkeit von der Lage der Bewehrungsstäbe von etwa 1,2 bis 2,85.

Die Versuchsergebnisse von Martin und Janovic konnten durch unsere Untersuchungen nicht bestätigt werden. In den Anlagen 13 und 14 werden die $v(t)$ - t - sowie die $\varphi_V(t)$ - t -Beziehungen der Betonierserie 2 (Normalbeton mit Portlandzement) mit denen der Betonierserie 9 (Normalbeton mit Hochofenzement) bei gleichem Lastniveau $\tau_{VD} = 0,66 \tau_{VU}$ verglichen. Das Belastungsalter betrug $t > 100 \text{ d}$, d.h. die Betonhydratation kann i.w. als abgeschlossen betrachtet werden. Die Kriechzahlen $\varphi_V(t = 1 \text{ h})$ liegen für Normalbeton mit Portlandzement bei etwa 0,2, für Normalbeton mit Hochofenzement bei etwa 0,7.

4.5 Einfluß des Belastungsalters

Bei den Betonierserien 8 und 9 wurde ein Teil der Probekörper bereits bei geringem Betonalter belastet. Um einen Vergleich mit ausgehärtetem Beton zu erhalten, wurden Probekörper derselben Serien bei hohem Betonalter mit gleichem Lastniveau untersucht. Die Versuchsergebnisse sind in den Anlagen 15 bis 18 aufgetragen. In Tabelle 4 sind das Belastungsalter sowie die Betonfestigkeiten zusammengestellt.

Tabelle 4: Belastungsalter und Festigkeiten der Betonierserien 8 und 9 bei Beginn der Dauerbelastung

		Serie 8	Serie 9
Alter Versuchsanfang t_{VA1}	Tage	10	14
β_{wVA1}	N/mm ²	58,0	17,0
Alter Versuchsanfang t_{VA2}	Tage	461	117
β_{wVA2}	N/mm ²	66,0	30,0

Aus den Versuchsergebnissen der Betonierserie 8 mit dem hochwertigen Beton geht hervor, daß die Kriechzahlen $\phi_V(t)$ insbesondere während der ersten 100 Stunden bei den jungen Proben größer sind als bei den älteren Proben.

Bei den Probekörpern der Betonierserie 9, die mit Hochofenzement hergestellt waren, ergaben sich dagegen bei den jungen Proben geringere Verschiebungswerte bzw. $\phi_V(t)$ -Werte als bei den älteren Prüfkörpern. Eine Begründung für diese Erscheinung kann z.Z. nicht gegeben werden. Ein Vergleich der Versuchsergebnisse, die an den jungen Prüfkörpern der Serie 8 und der Serie 9 gewonnen wurden, zeigt, daß die mit Hochofenzement hergestellten Prüfkörper der Serie 9 höhere Verschiebungswerte bzw. Kriechzahlen aufweisen. Diese Unterschiede lassen sich mit der höheren Betongüte und der geringeren Belastungshöhe bei der Serie 8 nicht erklären.

5. Verhalten der Probekörper nach Entlastung und bei anschließender Kurzzeitbeanspruchung

Nach Beendigung der Dauerstandbelastung wird bei jedem Probekörper während bzw. nach der Entlastung der spontan elastische sowie der verzögert elastische Rückschlupf gemessen. Es zeigte sich, daß insbesondere der verzögert elastische Rückschlupf sehr gering ist; bereits nach 2 Tagen ist die Rückverformung abgeschlossen. Auf die Anfangsverschiebung v_0 bezogen, beträgt der spontan elastische Rückschlupf bis zu 10 %, der verzögert elastische Anteil liegt unter 3 %.

Nach Abschluß der Dauerstandversuche wurden die Probekörper einer Kurzzeitbeanspruchung unterworfen. Die τ_V - v -Beziehungen der vorbelasteten Proben verläuft im Vergleich zu an jungfräulichen Proben gewonnenen τ_V - v -Linien sehr steil, d.h. eine Dauerlast wirkt sich versteifend auf den Verbund aus. Diese Versteifung ist bei geringen Verschiebungswegen bei höheren Belastungsgraden ausgeprägter. Ein Vergleich der Verbundfestigkeiten ergab keine sig-

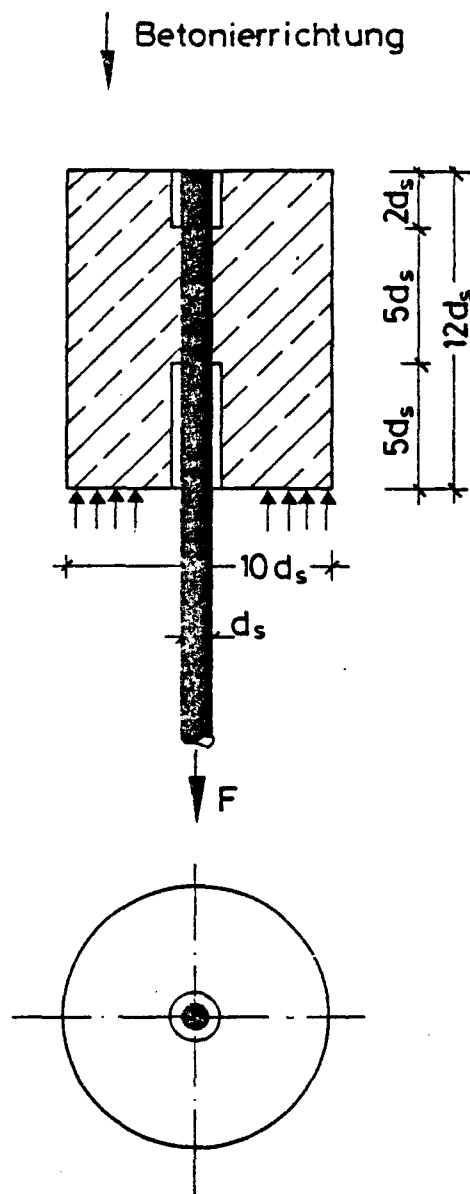
nifikanten Unterschiede zwischen vorbelasteten und unvorbelasteten Proben. In Anlage 19 sind die τ_v -v-Beziehungen vorbelasteter und unvorbelasteter Prüfkörper der Serie 8 dargestellt.

6. Weiteres Versuchsprogramm

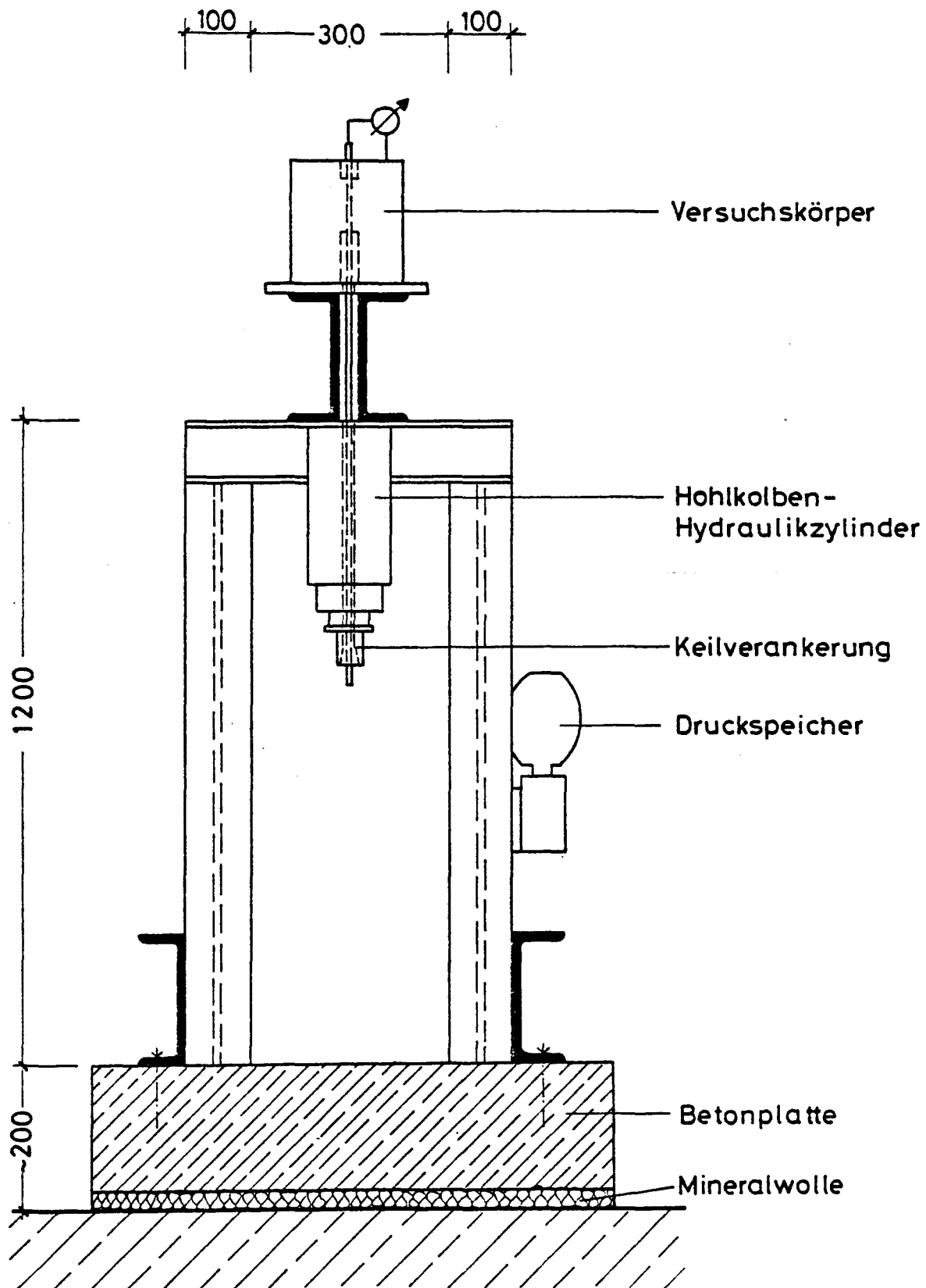
Versuche zum Einfluß der bezogenen Rippenfläche sowie der Belastungsgeschichte (Mehrstufenbelastungen, Zwischenentlastungen, zyklische Beanspruchungen) sind bereits abgeschlossen bzw. laufen zur Zeit. Die Auswertung wird vorgenommen. Geplant sind weitere Versuche mit hohem Belastungsniveau zur Bestimmung der Verbunddauerstandfestigkeit. An exzentrischen Ausziehkörpern soll i.w. der Einfluß der Betondeckung studiert werden.

Literaturübersicht

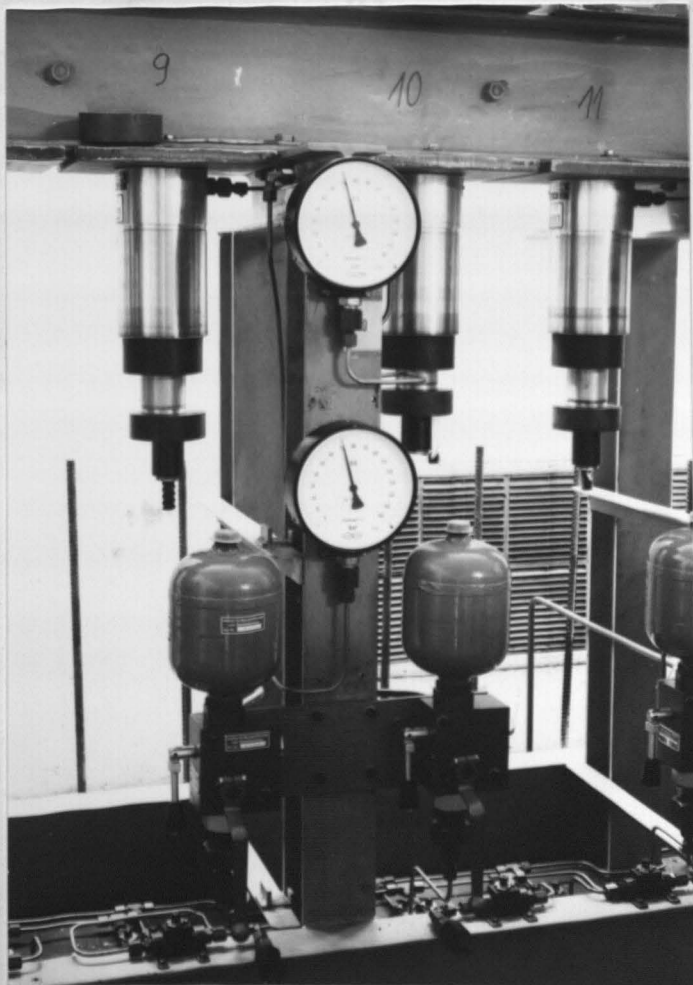
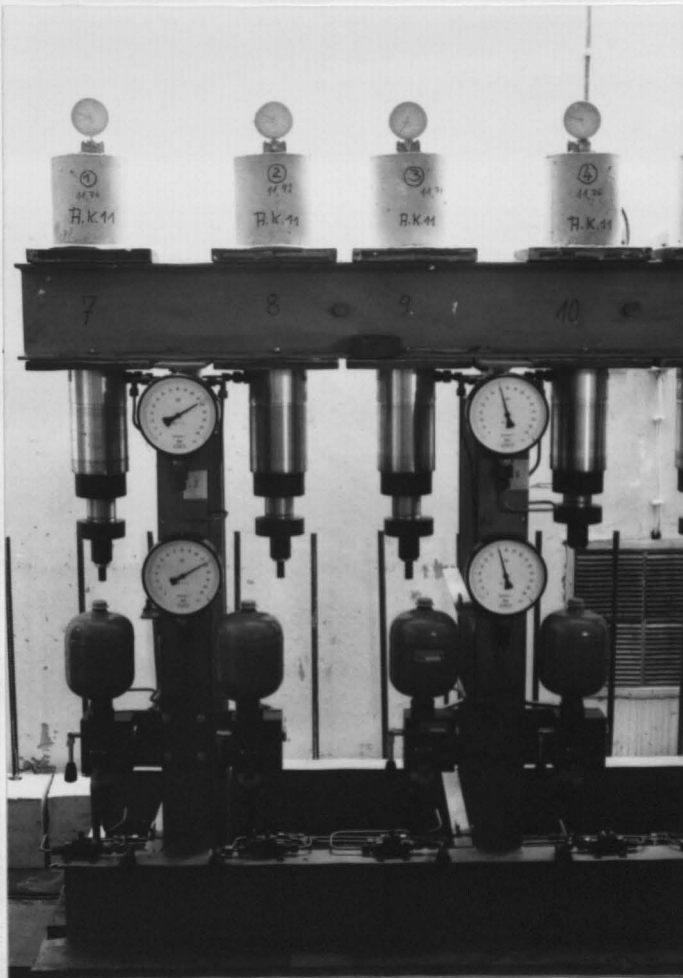
- /1/ Bond Test for Reinforcing Steel, I. Beam Test, II. Pull-out Test. RILEM 3, No. 15, 1970
- /2/ Franke, L.: Einfluß der Belastungsdauer auf das Verbundverhalten von Stahl in Beton (Verbundkriechen). Deutscher Ausschuß für Stahlbeton, Heft 268, 1976
- /3/ Svensvik, B.: Zum Verformungsverhalten gerissener Stahlbetonbalken unter Einschluß der Mitwirkung des Betons auf Zug in Abhängigkeit von Last und Zeit. Dissertation TU Braunschweig, 1981
- /4/ Martin, H.; Janovic, K: Einfluß der Konsistenz und der Dauerlast auf das Verbundverhalten von Stahl in Leichtbeton. Lehrstuhl und Institut für Massivbau, TH München, Bericht Nr. 2344, 1970

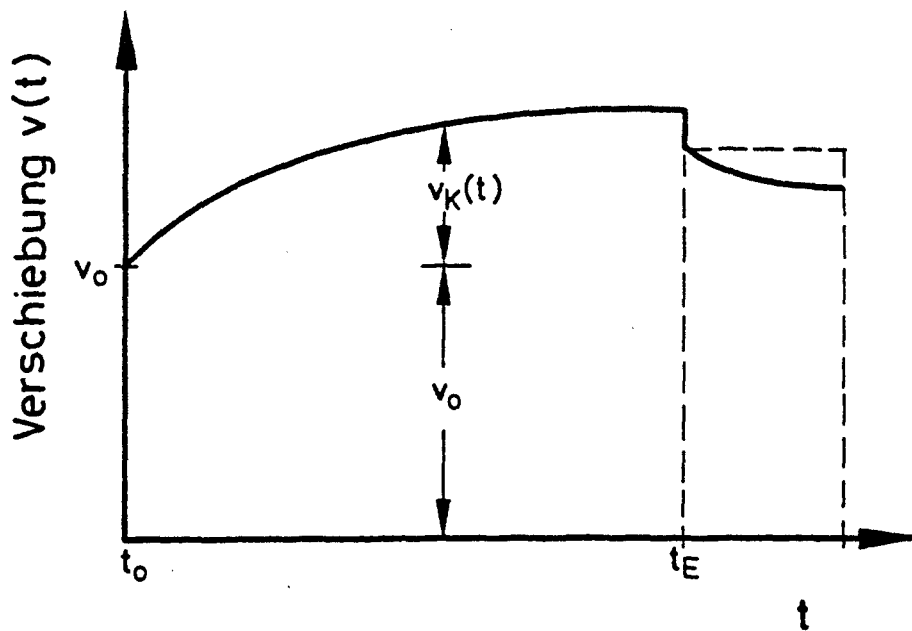
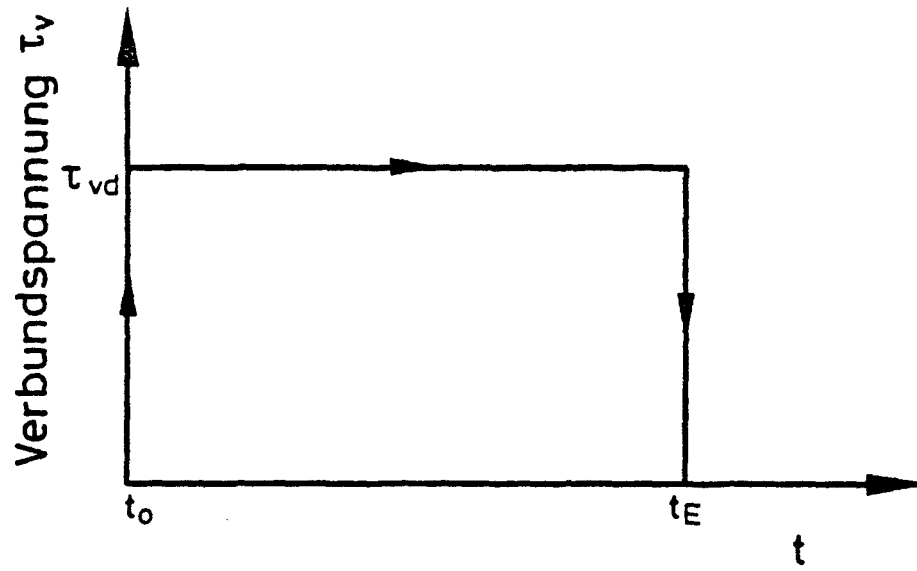


Prüfkörper für Ausziehversuche

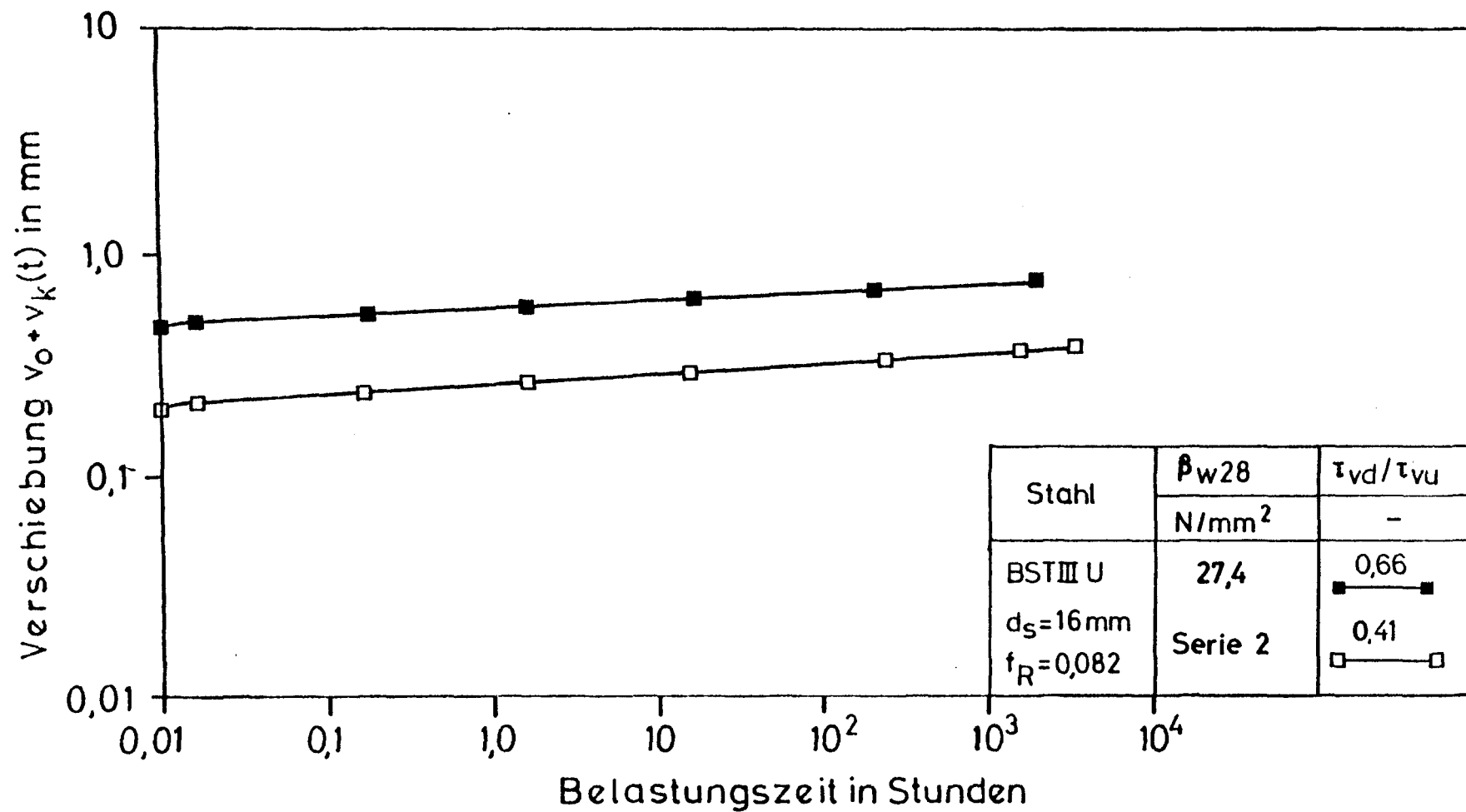


Verbundkriechstand (Querschnitt)

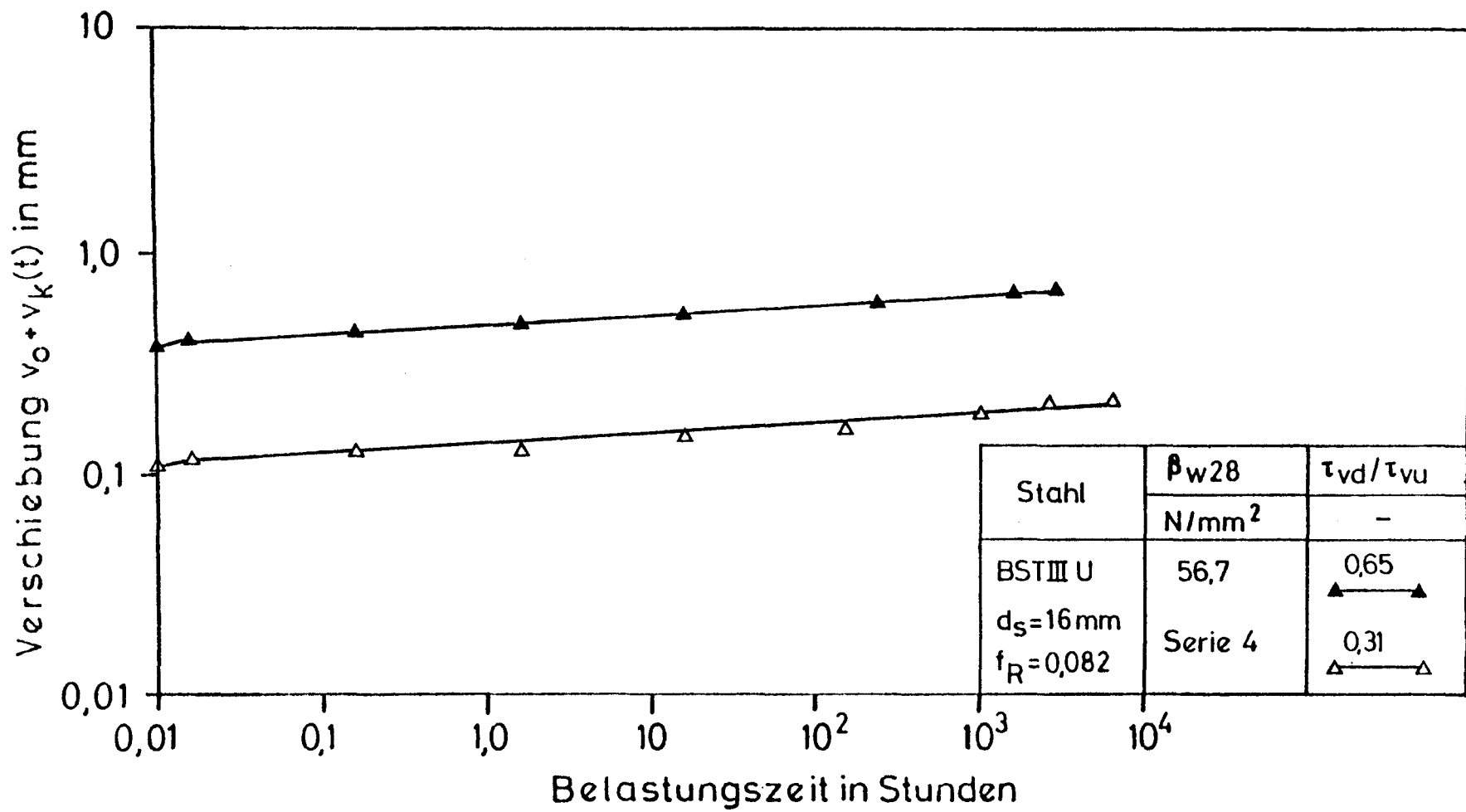




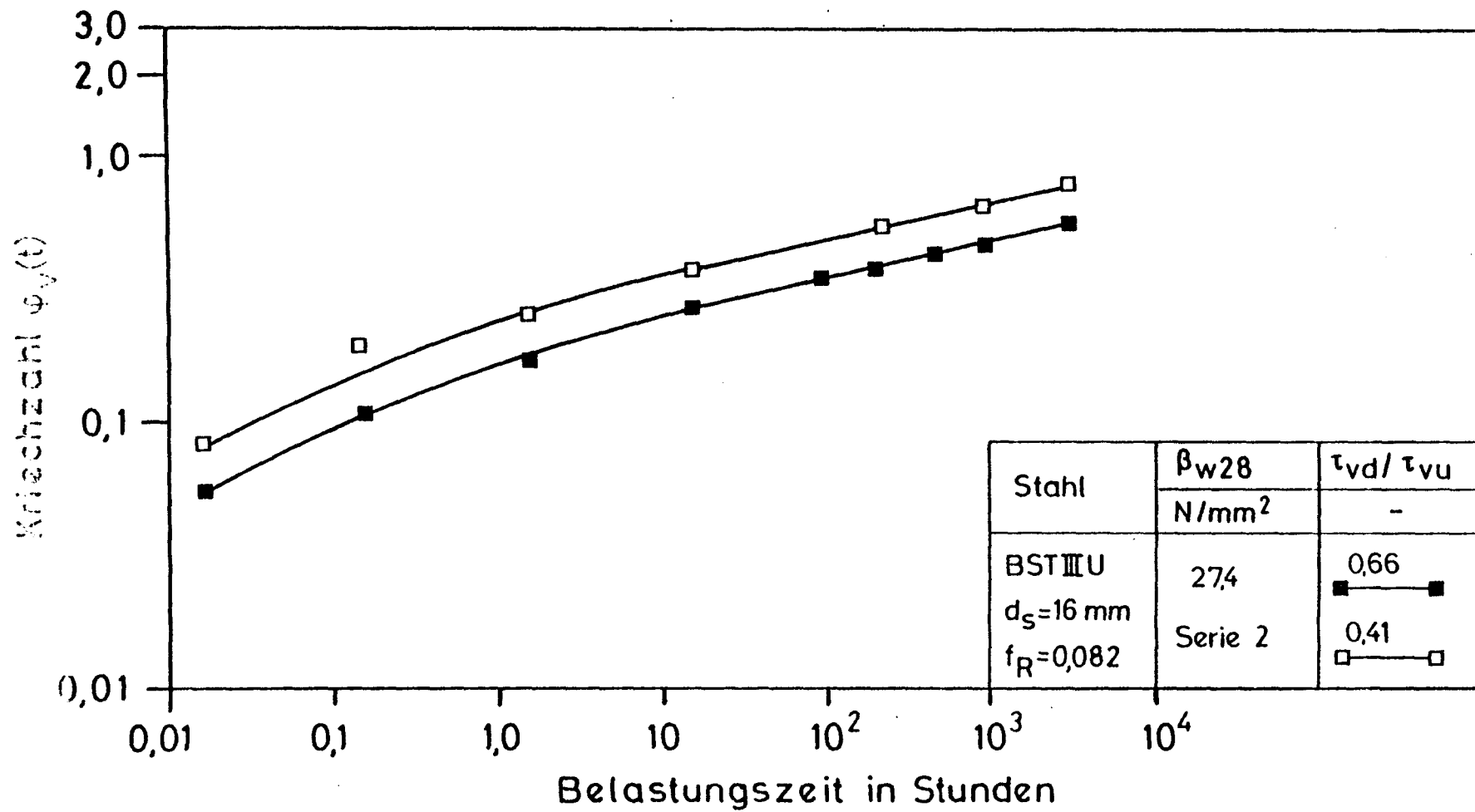
Grundsätzliches Verbundkriechverhalten

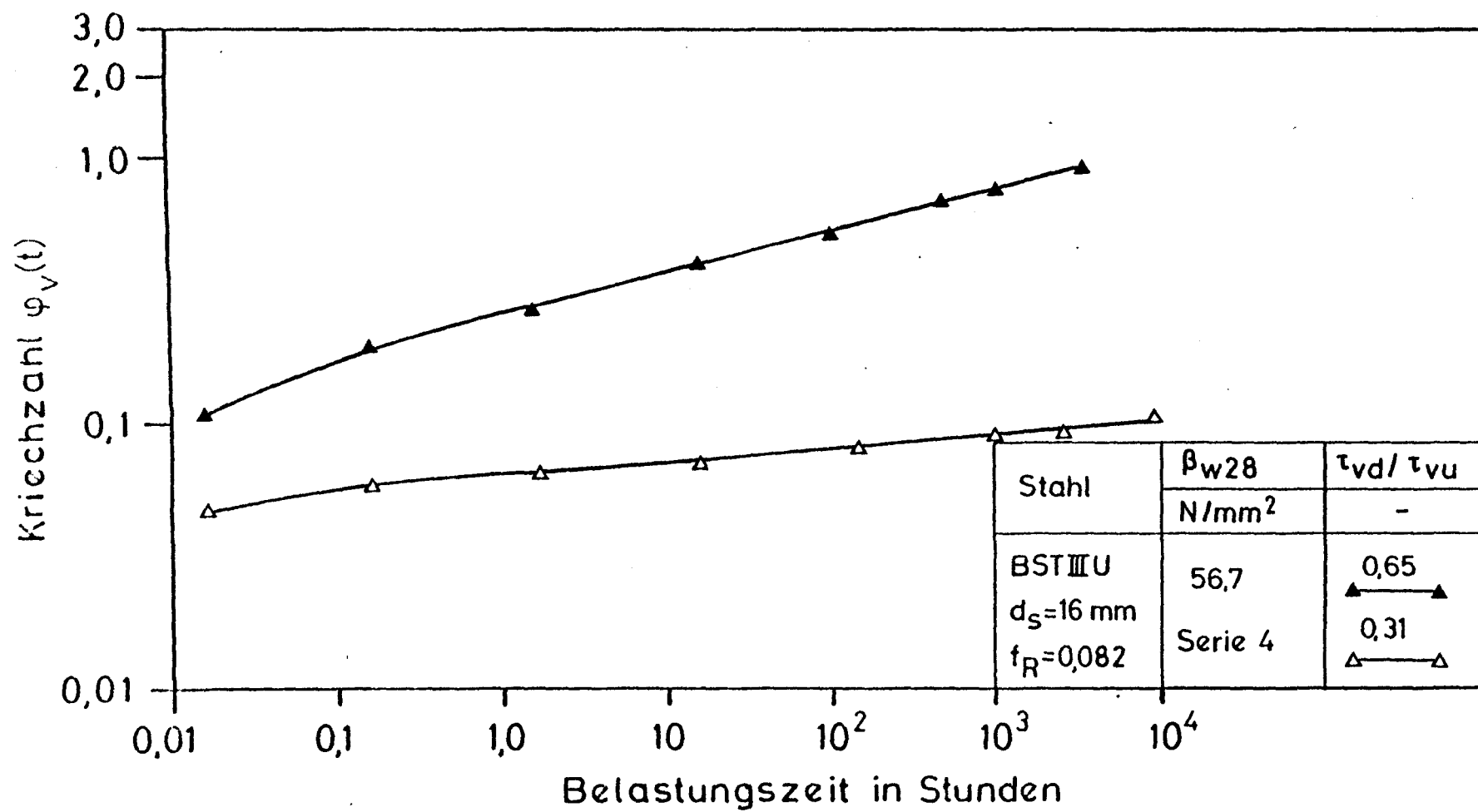


Einfluß des Belastungsgrades auf die Verschiebung $v(t)$

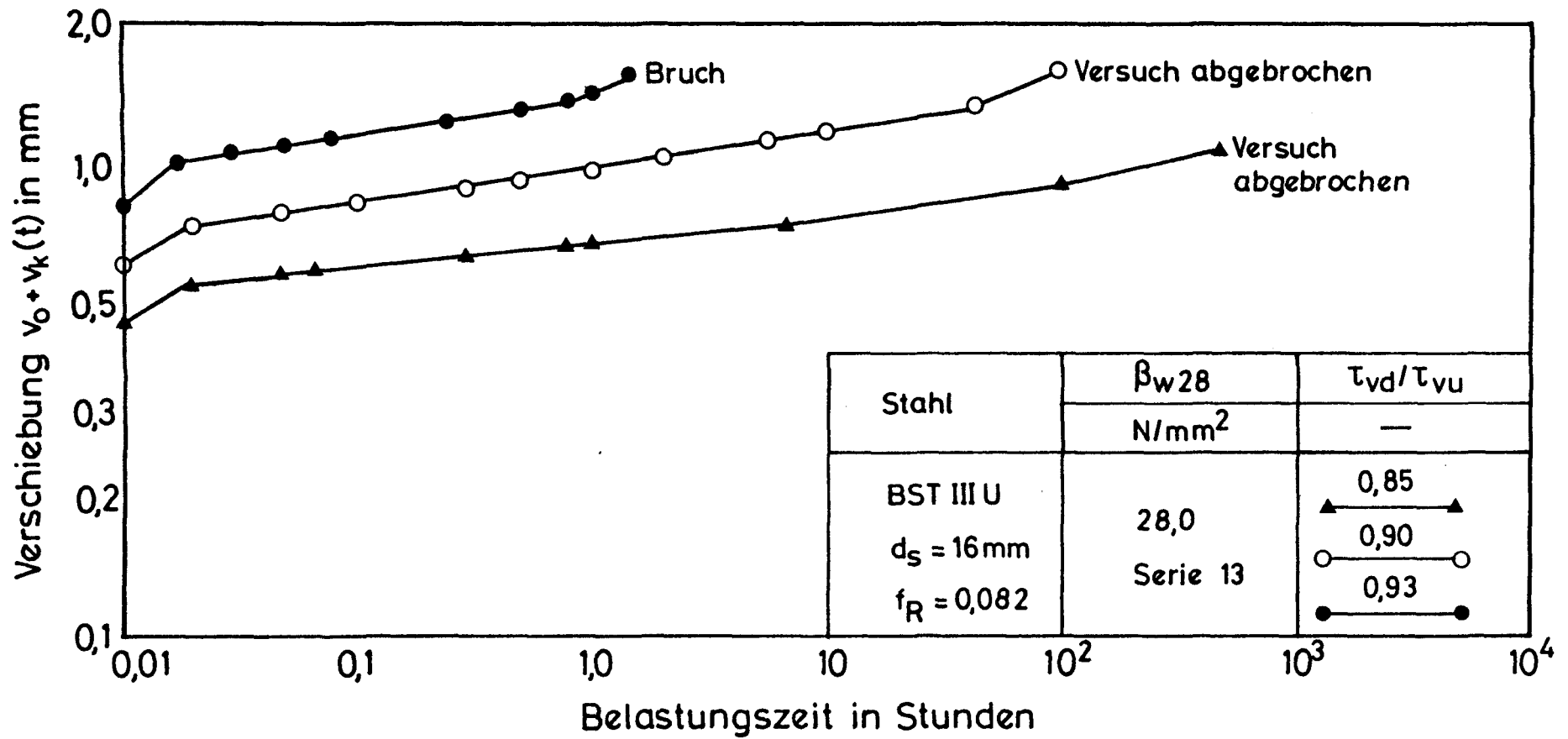


Einfluß des Belastungsgrades auf die Verschiebung $v(t)$

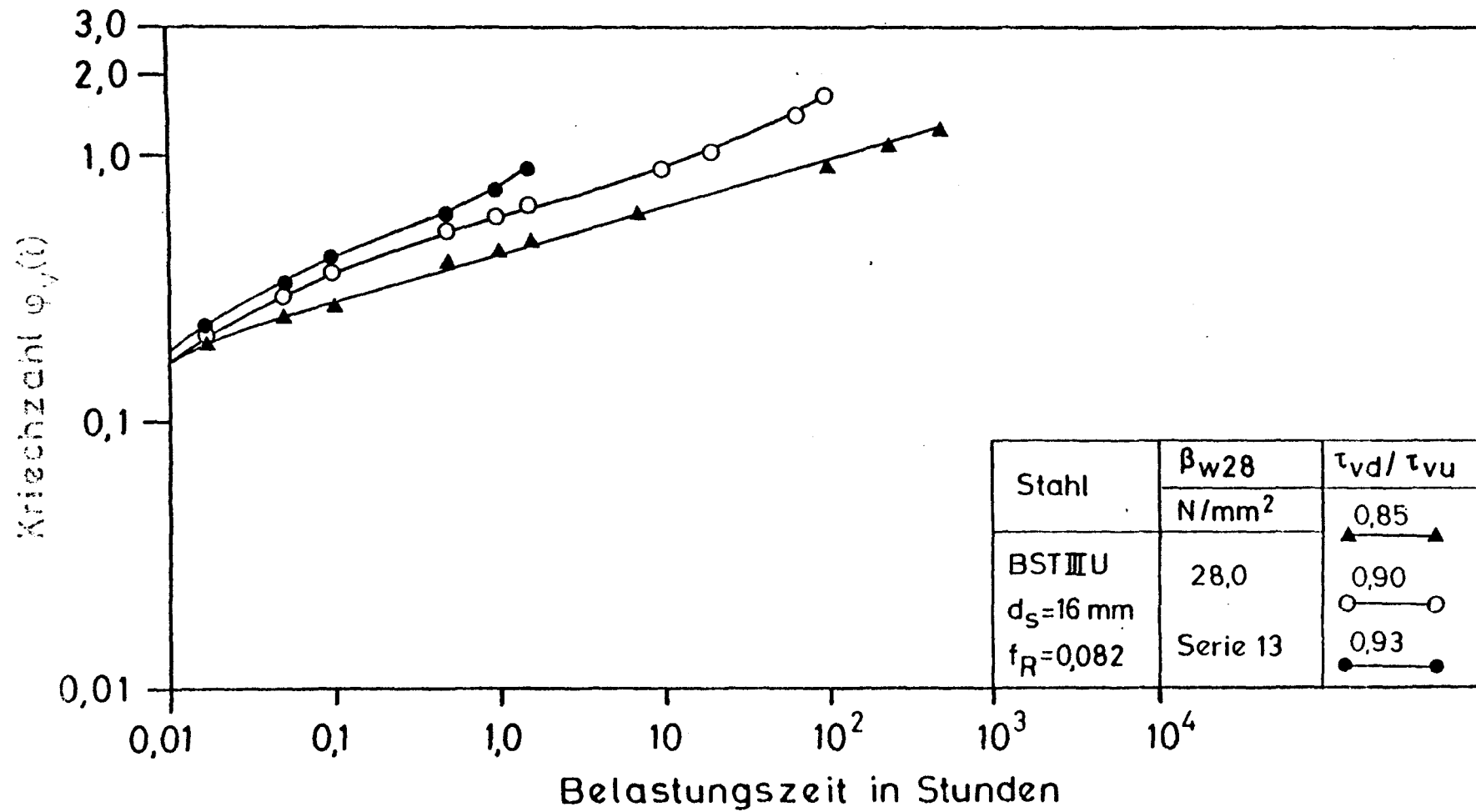




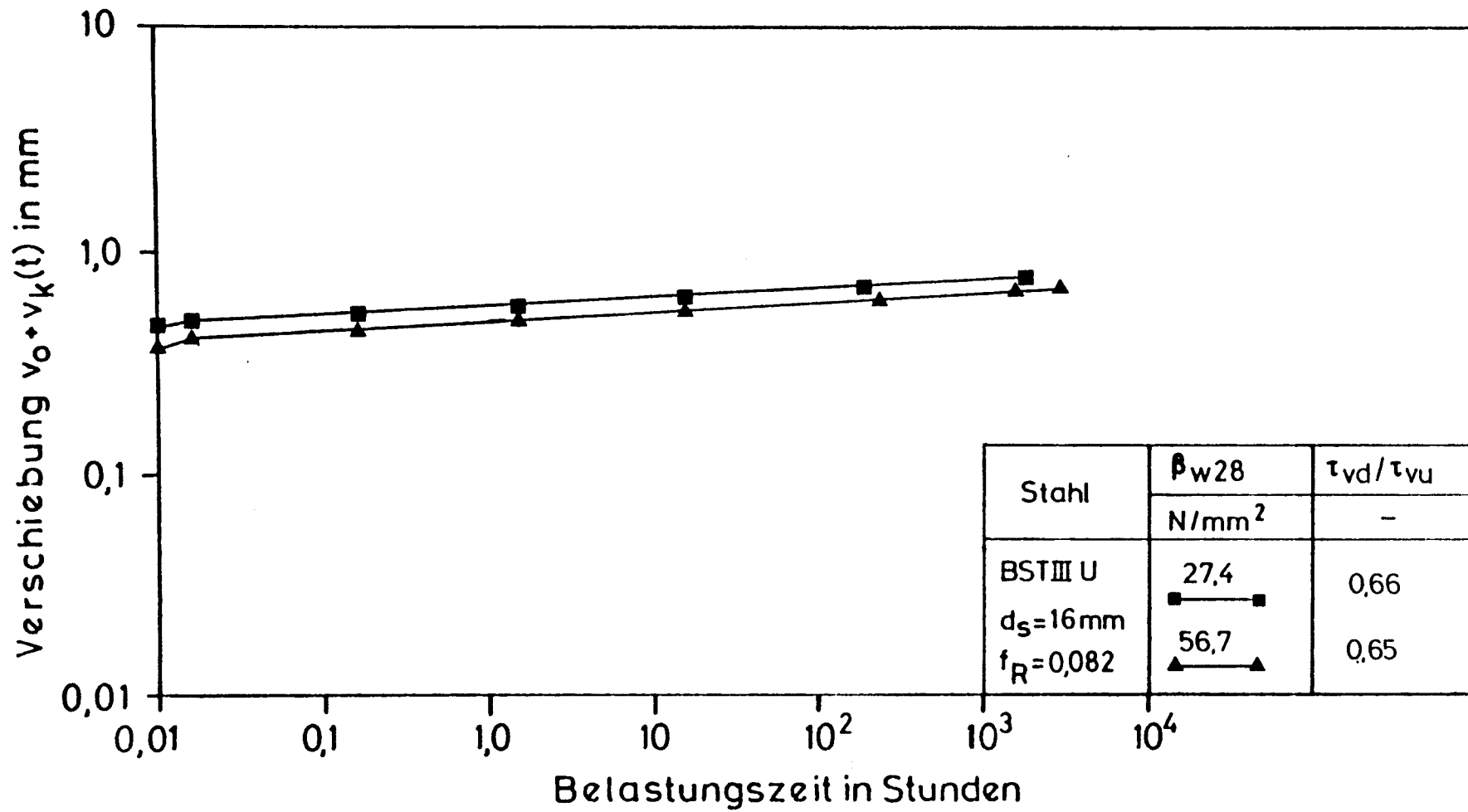
Einfluß des Belastungsgrades auf die Kriechzahl



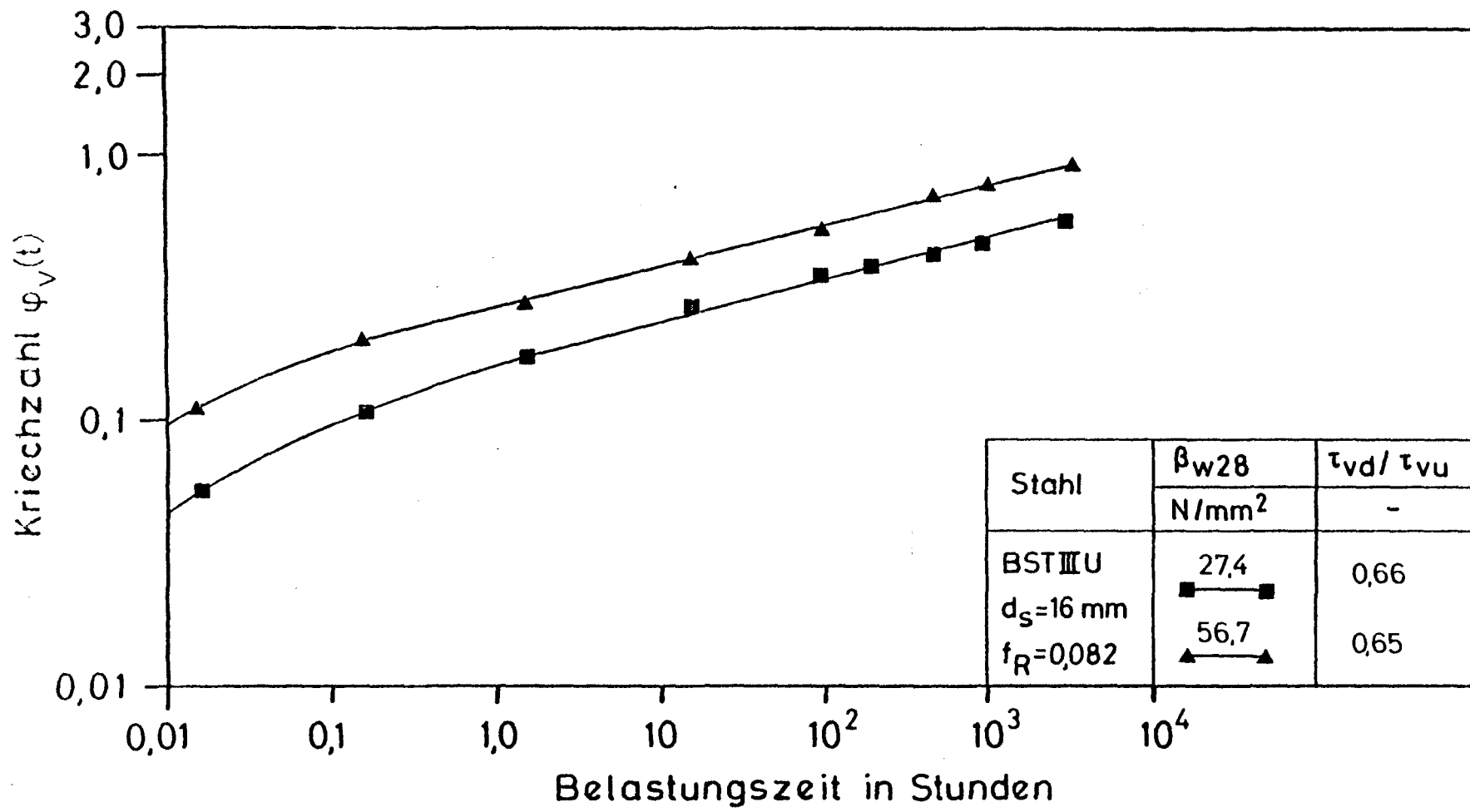
Entwicklung der Verschiebung $v(t)$ bei hohem Belastungsgrad



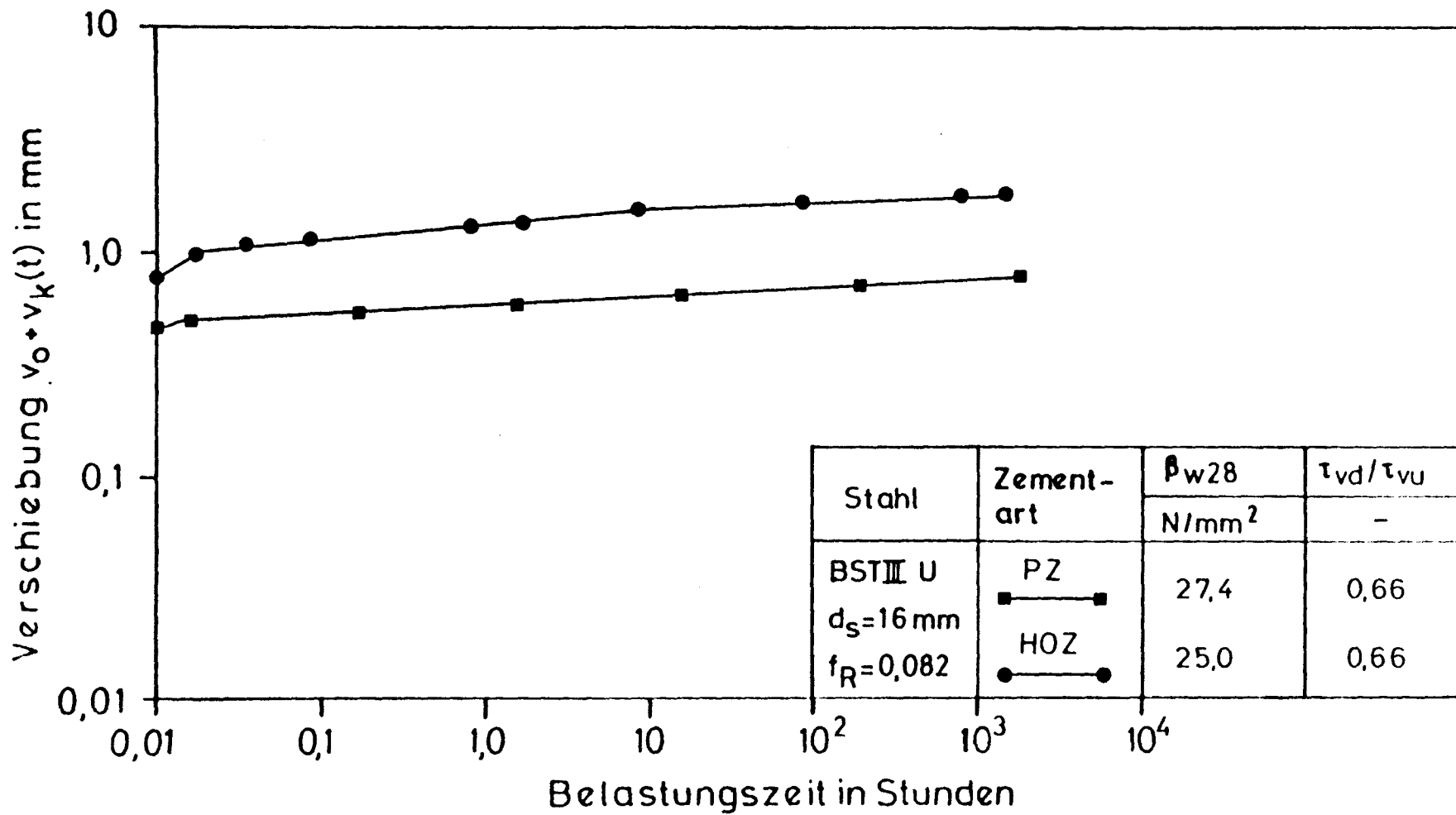
Entwicklung der Kriechzahl bei hohem Belastungsgrad



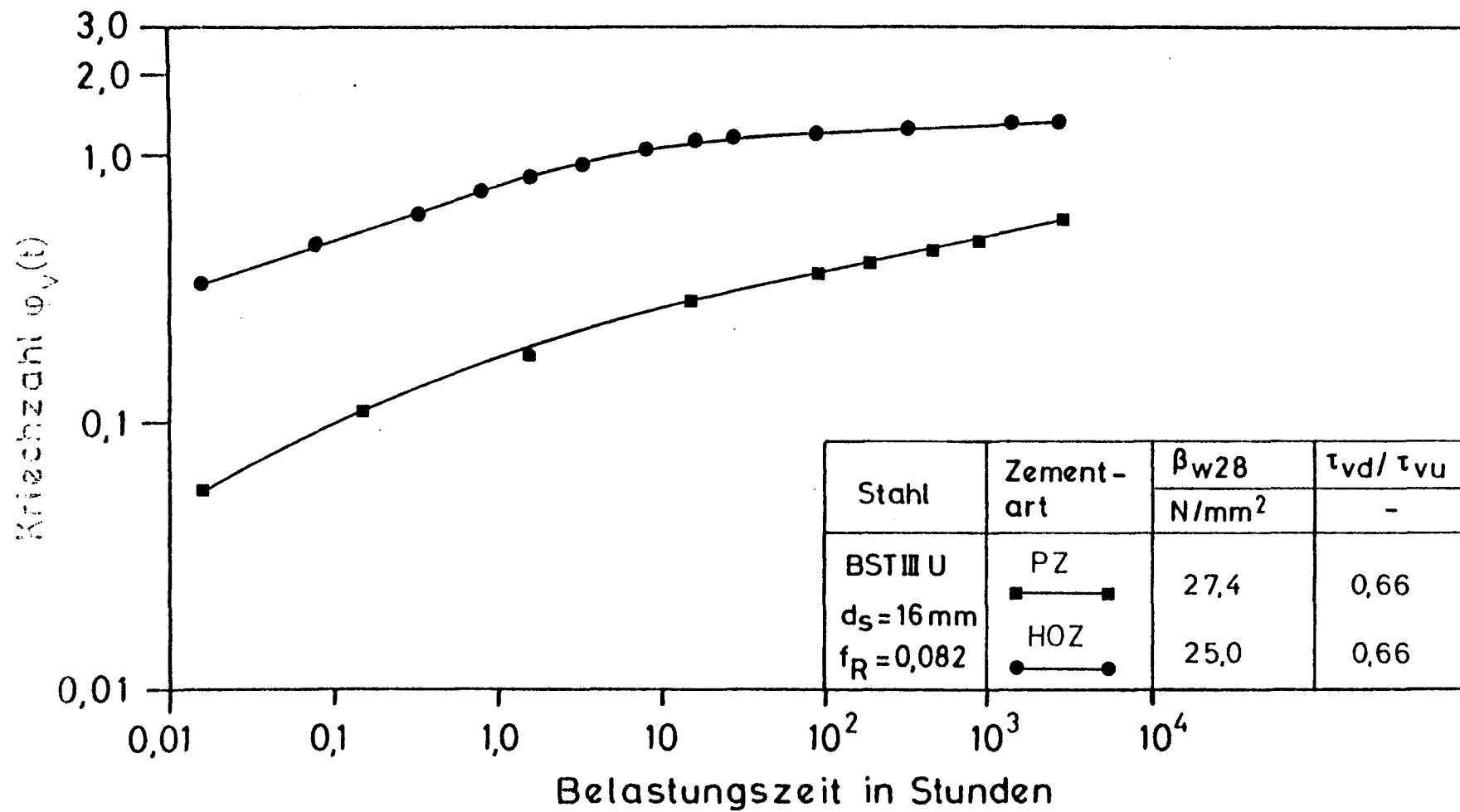
Einfluß der Betongüte auf die Verschiebung $v(t)$



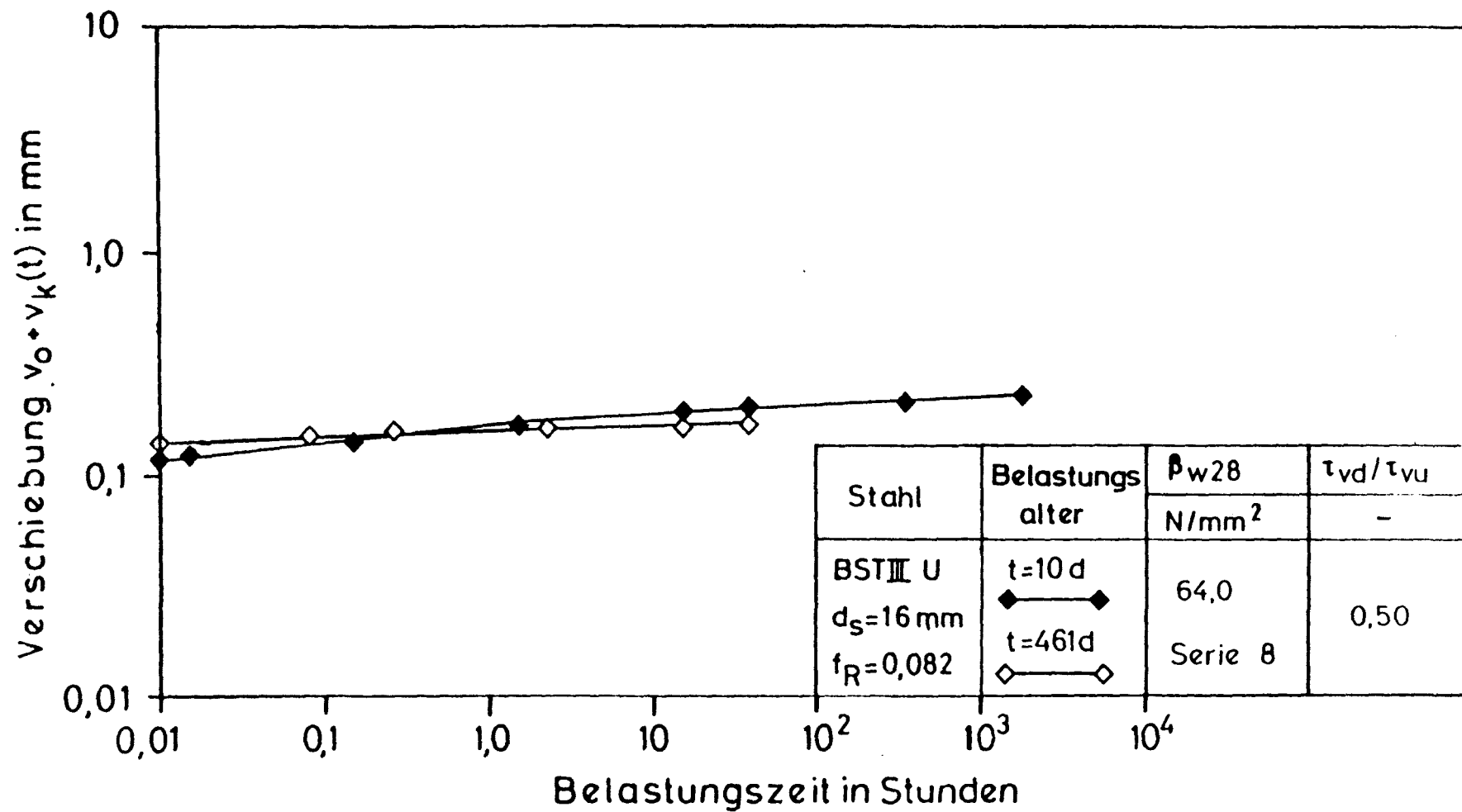
Einfluß der Betongüte auf die Kriechzahl



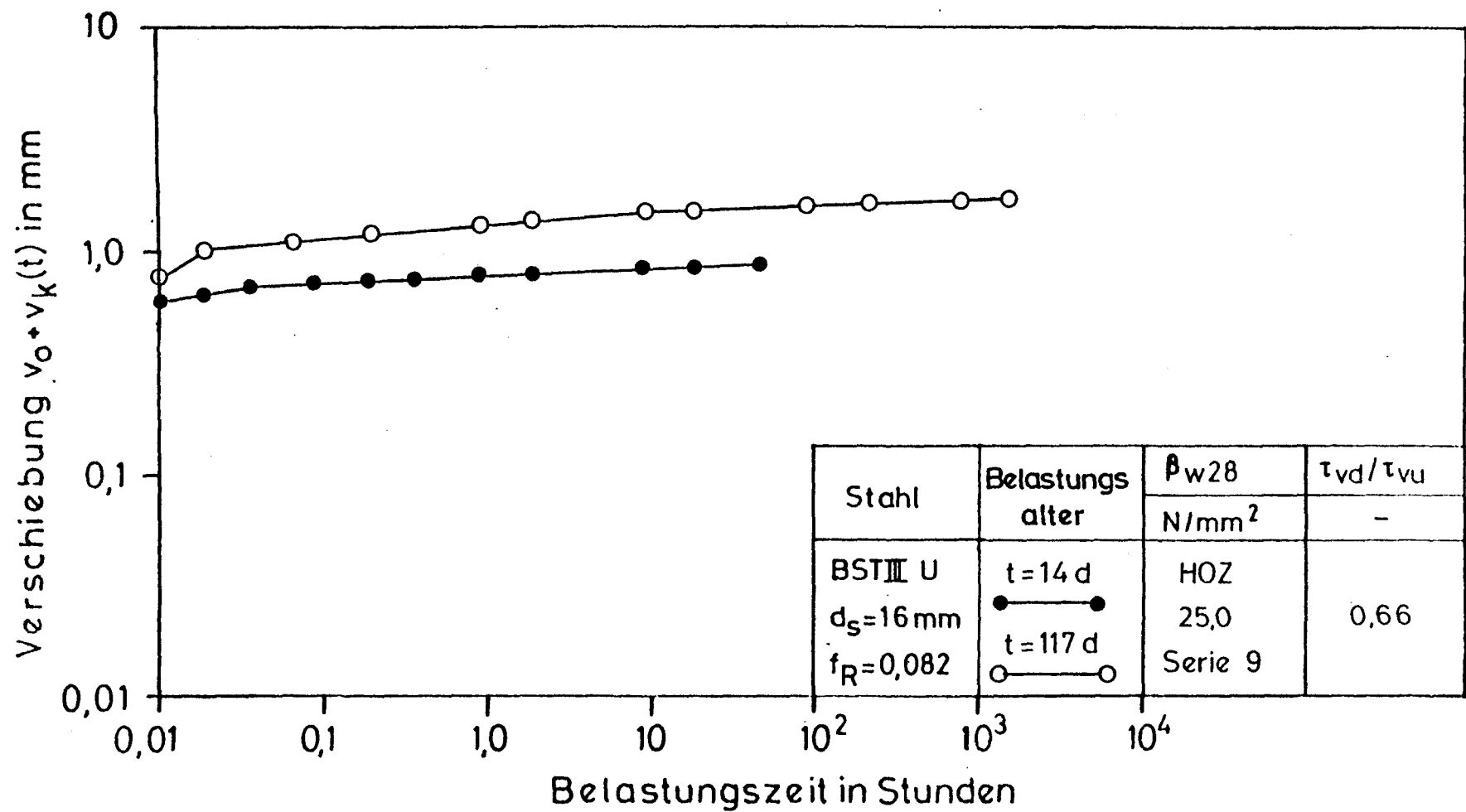
Einfluß der Zementart auf die Verschiebung $v(t)$



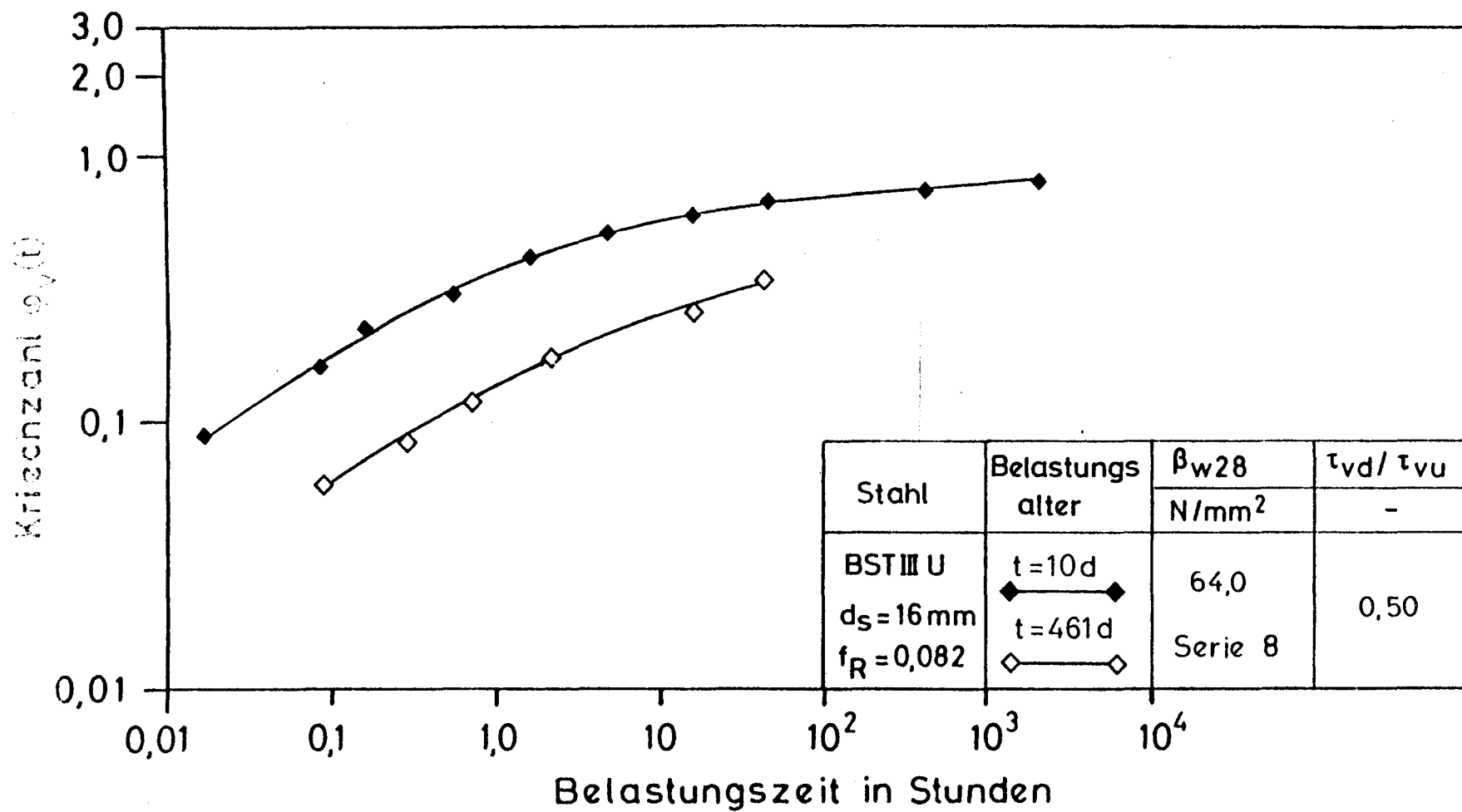
Einfluß der Zementart auf die Kriechzahl



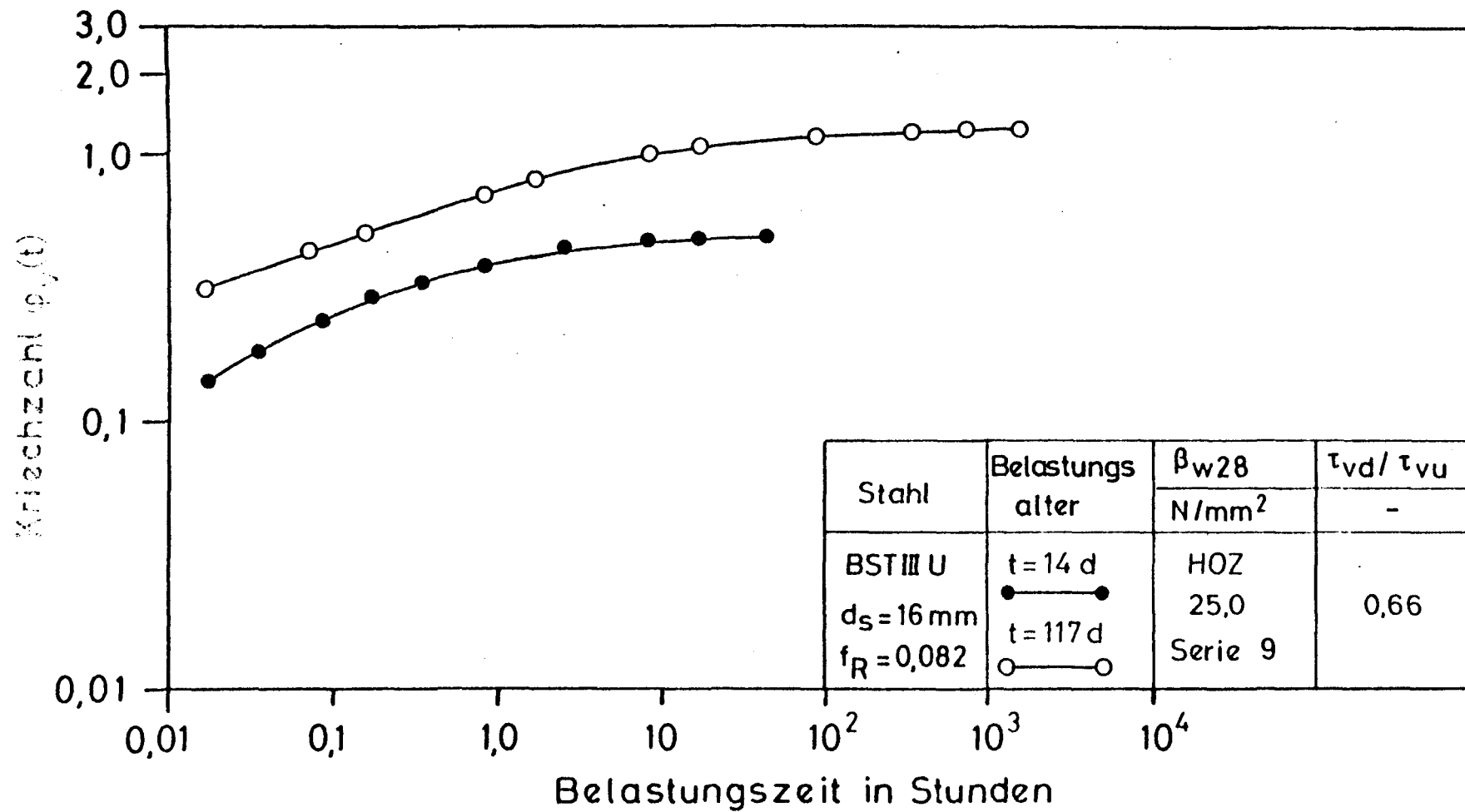
Einfluß des Belastungsalters auf die Verschiebung $v(t)$



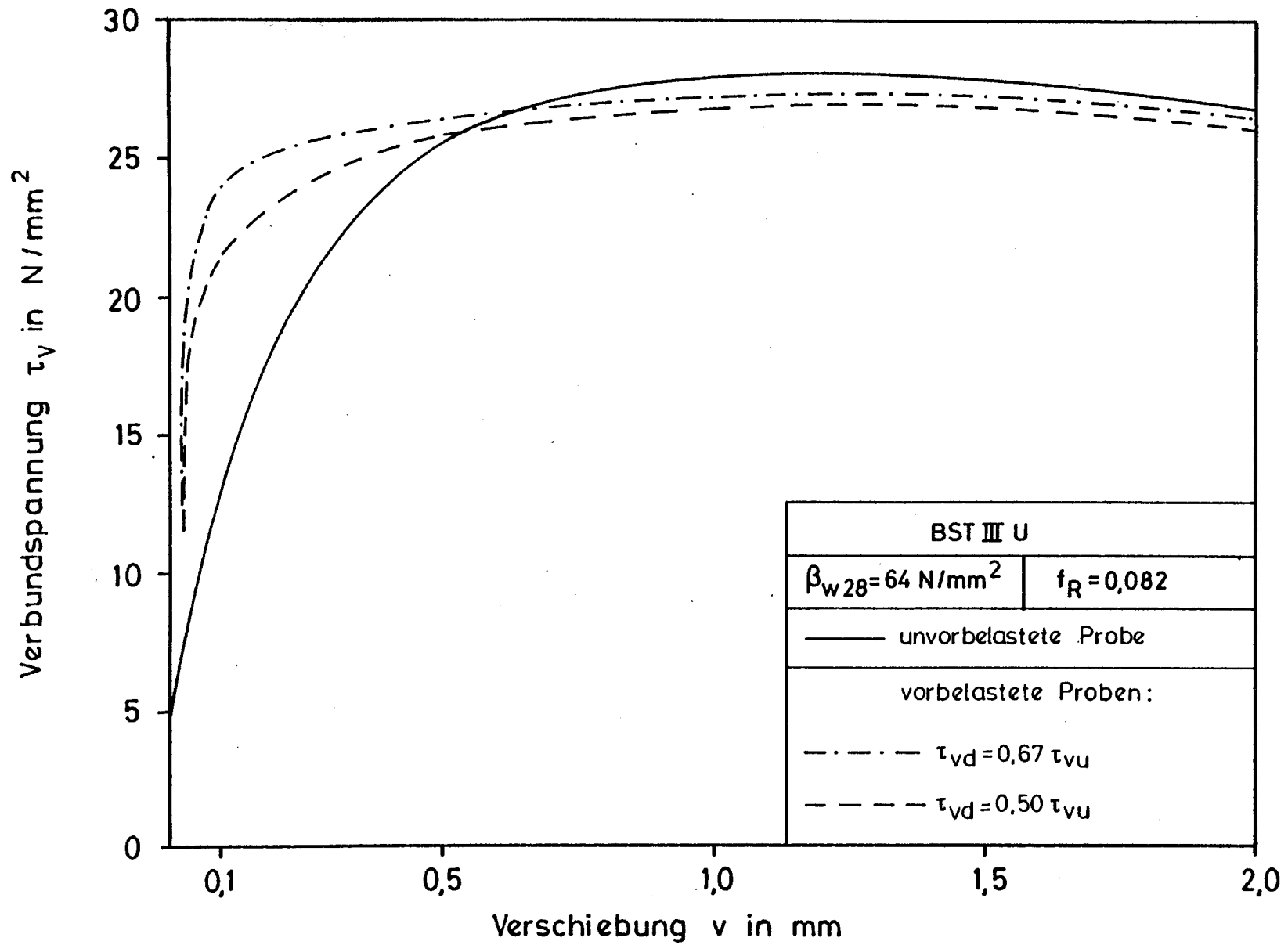
Einfluß des Belastungsalters auf die Verschiebung $v(t)$



Einfluß des Belastungsalters auf die Kriechzahl



Einfluß des Belastungsalters auf die Kriechzahl



Vergleich der Verbundspannungs-Verschiebungsbeziehung vorbelasteter und unvorbelasteter Proben